

力學

程宗植編

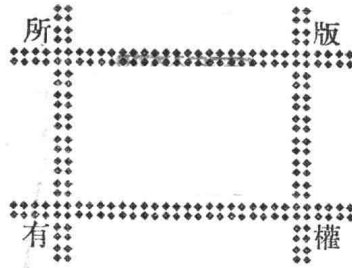
上海中華書局印行

民國二十四年十二月印刷
民國二十四年十二月發行

力學 (全一冊)

◎ 定價銀八角

(外埠另加郵匯費)



編者 程宗植

發行者 中華書局有限公司
代表人 陸費達

印刷者 上海靜安寺路
中華書局印刷所

總發行所 上海福州路 中華書局

分發行所 各埠 中華書局

編輯大意

1. 本書爲高中工科學生,及從事工業,或對於斯學感覺興趣者而設,故讀者之程度,當假定有初中畢業之學力,或曾習代數、幾何及三角法大意者,其有須高等數學始能解釋之理論,姑置緩圖,以免讀者有扞格之虞。

2. 本書材料之選擇及排列,係編者根據多年實地教授之經驗,以爲取捨,其目的務期輕減讀者之負擔;而斯學之重要原理及定律,亦包羅無遺。

3. 本書全用普通文言;行文力求淺顯,敘述不厭詳明;俾讀者免推敲辭句之勞,及誤會文意之弊。

4. 本書注意實用;說理之餘,多舉實例,編末專闢應用及練習一編,羅列各種計算問題,詳加詮釋;俾讀者瞭然於斯學之用。

5. 術語與人名之譯名,均照教育部頒布之物理學名詞,並附英語於各名詞之後,以資查考。

民國二十三年五月編者識

目 次

編輯大意

總 論	1
第一編 運動學	5
第一章 運動及靜止	5
第二章 直線運動	7
I 等速運動 位移 速度	
II 變速運動 加速度	
III 應用	
IV 迴轉運動	
第三章 平面內之運動	14
I 位移 速度 加速度	
II 應用	
III 相對運動	
第二編 動力學	31
第一章 運動之定律	31
I 質量 動量 衝量	
II 力 重力	
第二章 功與能量	47
第三編 靜力學	55
第一章 一點上諸力之合成	55
第二章 一點上諸力之平衡	61
第三章 作用於剛體之同平面上諸力	67
I 同平面上諸力之合成	

II	平行力	
III	力偶之諸定理	
IV	再論剛體上作用諸力之合成	
V	同平面諸力作用於剛體之平衡	
第四章	立體之平衡	89
I	作用於立體之異平面上諸力	
II	作用於立體之平行力之中心	
	質量之中心	
	重力之中心	
第四編	餘論	111
第一章	摩擦	111
第二章	斜面 單擺	116
第三章	功及能	124
第四章	萬有引力	137
第五章	勢	148
第五編	應用及練習	153
1.	運動方程式之應用	153
2.	關於運動之分解合成及相對運動之例題	156
3.	關於圓運動及簡諧運動之例題	165
4.	關於衝突之例題	167
5.	關於力及運動方程式之例題	170
6.	關於功及能之例題	174
7.	關於靜力學之例題	182
8.	關於重心之例題	189

中文名詞索引

西文名詞索引

力 學

總 論

§ 1. 力學 力學(Dynamics)爲研究運動之學,以最合理最簡單之方法,敘述發現於自然界之運動爲目的。

凡物變其位置謂之運動,而位置之變動,必需時間;運動者之本身,必爲物質;故力學之研究,必涉及空間、時間及物質之三者。此三者各爲獨立,不能以其一說明其他;僅論三者間所存在之關係而已。換言之,力學者,卽爲以數量的說明三者間關係之學也。

僅論空間者爲幾何學,論空間及時間之關係者爲運動學,而論空間、時間及物質三者之關係者,則爲力學。雖然,力學之範圍頗廣,便利上得大別如次:

靜力學 研究關於靜止之狀態者。

動力學 研究關於運動之狀態者。

§ 2. 單位 力學既以數量的研究空間、時間、物質三者間之關係,故測定之時,必需單位。

(a) 長度單位 外界之各種物體,其形狀大小各不相同。如超越物體之本身,專由抽象上,論其形狀大小之關係,此空間之一概念之所由來也,是故研究空間,必涉及形狀之大小;而比較形狀大小,自需長度單位。日常生活上所選用者爲市尺,在一市尺以上者用丈用里,在一市尺以下者用寸用分。又有標準制,爲各國所採用的長度單位,故又稱國際通制。其單位爲一公尺,適爲3市尺;等於法國制之一米,美國制之3.279呎。在公尺以上用公里,合一千公尺,等於1仟米。在公尺以下用公分,合百分之一公尺,等於1釐米。

(b) 時間單位 此單位爲平均太陽日。即太陽連續兩次經過子午線所歷之時，爲一太陽日 (Solar day)。地球公轉之速度，隨時略有不同，其軌道面又與赤道面不一致，故太陽日之長短，未能一律；就一年中之太陽日而平均之，爲平均太陽日 (Mean solar day)，簡稱曰日。1 日分作 24 時 (Hour)，1 時分作 60 分 (Minute)，1 分又分作 60 秒 (Second)

(c) 質量的單位 據經驗知宇宙間之物質，既不能創生，亦不能消滅，是曰物質不滅定律 (Law of conservation of matter)。表示此項物質多寡之量，曰質量 (Mass)。質量之單位，在日常生活上用市斤，斤以下用兩、錢、分、釐。在標準制即國際通制用公斤，合市斤 2 斤，等於法國制之 1 仟克 (Kilogramme)，英國制之 2.20462 磅 (Pound)。在公斤以下則用公分，等於 1 克 (Gramme)，合千分之一仟克。

學術上所用之單位，爲 *C. G. S.* 制 (Centimetre Gramme Second system)。其長度單位爲 1 釐米 (Centimetre)，合百分之一米，略寫作 *cm*。質量單位爲 1 克 (Gramme)，時間單位爲 1 秒 (Second)。

在英日等國，則用 *F. P. S.* 制 (Foot Pound Second system)。其長度單位用呎 (Foot)，合 0.3048 米，或 30.48 釐米。質量單位用磅 (Pound)，合 0.4536 仟克，或 45.36 克。時間單位用秒。

此外又有角之單位，可分爲兩種：以一直角之九十分之一，作一度 (Degree)；一度之六十分之一作一分 (Minute)，一分之六十分之一作一秒 (Second) 是曰六十分法 (Sexagesimal system)。以等於半徑之圓弧，對於圓心所張之角度，作一弧度 (Radian)，是曰弧度法 (Circular system)。如命 D° 表任意角之度數， θ 爲其弧度數。則兩者之間，有 $D^\circ:360^\circ=\theta:2\pi$ 之關係，因 $\pi=3.1416$ ，故

$$1 \text{ 弧度} = 57^\circ 17' 44.8''$$

1 度 = 0.017 弧度.

以上所述者,爲平面角.若在立體角,則其單位以等於半徑自乘之球面積,對於球心所張之角度表之,曰 1 立體弧度 (Solid radian).



第一編 運動學

第一章 運動及靜止

§ 3. 運動及靜止 運動(Motion)者物體變動其位置之謂,靜止(Rest)者物體不變其位置之謂,此義甚明,似無容致疑;然對於次述問題,又將何以解釋之乎?

甲乙二人,同乘每秒行一尺之筏,沿川而下,甲以每秒一尺之速,在筏上步行,而自筏之他端,沿川而上,乙則靜坐於筏上,今自筏上觀之,甲雖常在同一位置,而固在筏上步行;乙雖與筏同流下,然非靜坐於筏上而未嘗動乎?

故知運動或靜止云者,恆爲相對之語,而非絕對之詞,在前例中,甲雖對筏運動,對於岸則靜止;乙對於筏雖靜止,而對於岸則屬運動也。

故凡確定物體之動靜,必先預取一物作標準,物體若對於標準而變方向或變距離,或方向與距離俱變者,則自標準視之,此物爲運動,若方向或距離均不變者,則爲靜止,即如前例中,或以筏爲標準,或以岸爲標準,而甲乙之動靜自異也。

通常以得視爲不動之一點,爲確定物體動靜之標準;即解析幾何學之原點也。然此原點亦僅一時暫定爲不動,而其真動與否,非所問也,亦不可問也。蓋茫茫大空中,無一絕對不動之物體,地球以一定軌道,循環於太陽周圍,固無論矣,而太陽又率太陽系全體,向其他某天體而運動,加之吾人於晴夜仰望天河,亦覺無數星辰,集爲一團,而運動於茫無涯際之天空,然則欲於無絕對不動的物體存在之空間,而求一真正不動之點,又烏可得哉!

運動與靜止之義,已如上述,然映於吾人眼簾之物體運動,其

狀態又千差萬別。船舶列車之運動，較爲簡單；水車齒輪及擺之運動，又各不同；若陀羅或自轉車之類，其運動更形複雜；至若空氣或水等流體之運動，其複雜有出於想像之外者，研究此種運動，而發見其間之定律，實斯學之目的也。

斯學初步，須先研究點之運動。蓋若一點運動之觀念，能完全習知之，則僅賴積分法之助，得擴充至點所運行而成之物體之運動也。

第二章 直線運動

I. 等速運動 位移 速度

§4. 位移 直線上某點位置之變易曰位移 (Displacement).

例如最初在直線上 O 位置之點，變易其位置至 P ；則 OP 爲此點之位移。故位移一語，毫不含時間之觀念，此

O P

點經過 OP 距離之間，或須數秒，或須數時，其位移均同也。然一點經過 OP 距離之間，其所需時間，自不能無若干差異；故如同一位移，即一點經過同一距離之間，須時少者較諸需時多者曰其速 (Speed) 大，其在相等時間內爲相等位移者曰等速運動 (Uniform motion)。

運動之等速者，則以單位時間之位移，測其速；如曰一秒間若干釐米之位移是也。如以數字表之，則以表時間之數除表位移之數可也。

命位移之距離爲 S 釐米，經過時間爲 t 秒；則

$$\frac{S}{t} = \text{速 (釐米/秒)},$$

故若以 v 表速，則得表時間與位移之關係式，即

$$S = vt.$$

§5. 速度 有東西向之修徑，設有一人自東至西，以每秒 5 釐米之速進行；別有一人以同速自西往東；其位移均爲 5 釐米，而方向則有東西之殊，又若以每秒 5 釐米之速，自西徂東，或自南徂北，則速雖同而方向全異。凡速與方向同時考及者曰速度 (Velocity)。故文中凡云速度，實兼含速與方向二義，而所謂速者，則僅有前節所述之義，然文中間有若「速度爲 v ，其傾角爲 α 」之句，則其意爲「速度之大爲 v ，其方向爲 α 」也。

研究位移之時，若加入方向之觀念，則其對於單位時間之比，即爲速度，故得定速度之單位如下：每秒間爲單位位移之速度，爲速度之單位，故速度之單位，爲每秒一釐米之速，略稱爲一秒釐米。

II. 變速運動 加速度

§ 6. 變速運動 一定時間內之位移不同者，其速自異，是爲變速運動(Variable motion)，通常以其所需之時間，除其全位移，即得平均速度(Mean velocity)，實則其速度時時變易，而測定其瞬間速度時，通常以此速度在瞬間後能繼續進行，其單位時間中所經過之距離當之，然則所謂「變速運動之速度在某瞬間爲若干」者，僅爲因計算而得其值後之解釋，實非其瞬間前後單位時間之位移也。例如某汽船現以十五哩之速度進行者，非謂前一時間以十五哩速度進行，亦非謂後此一時間以十五哩速度進行，但謂此汽船若此後能保持此速繼續運動，則次一時間中，可得以十五哩進行之比而已。

§ 7. 加速度 變速運動，種種不同：有一定時間內，速度之增減甚劇者；亦有極微者。前者曰加速度(Acceleration)大，後者曰加速度小，即加速度者，爲速度增減對於時間之比，猶速度爲位移對於時間之比也。

加速度亦有同異之殊，一定時間速度之增減變化同者，則其加速度同；否則加速度異。

加速度之同者，則其大小爲單位時間內速度變化之值，其不同者，則其大小爲此瞬間後以同速度繼續進行，次單位時間速度變化之值也，故定其單位如下：每單位時間內速度變化之值爲單位，則其加速度爲單位加速度。

例如每一秒間速度變化之比,爲每秒一釐米,則其加速度爲每秒每秒一釐米;略稱爲一秒秒釐米。

加速度以逐漸增加者爲正;以逐漸減少者爲負。

III. 應 用

§ 8. 等速運動之公式 等速運動中,以

S = 距離,

t = 時間,

v = 速度.

則因定義,得

$$v = \frac{S}{t},$$

或

$$S = vt \dots \dots \dots (1).$$

§ 9. 變速運動之公式 變速運動中(加速度同者),以

v_0 = 最初速度,

v_t = t 秒後速度,

t = 時間,

S = 距離,

a = 加速度.

則因加速度定義,得

$$v_t = v_0 + at; \quad \text{或} \quad t = \frac{v_t - v_0}{a}.$$

即每秒加 a , 故 t 秒間加 at 也, 次以

$$\frac{v_0 + v_t}{2} = v,$$

則 v 爲平均速度, 故較以等速度 v 運動於 t 秒間者, 其所經過之距離相同; 故因

$$S = vt,$$

$$\begin{aligned}
 \therefore S &= (v_o + v_t) \frac{t}{2} \\
 &= (v_o + v_o + at) \frac{t}{2} \\
 &= (v_o + \frac{at}{2})t \\
 &= v_o t + \frac{1}{2}at^2; \\
 \therefore S &= v_o t + \frac{1}{2}at^2 \dots\dots\dots(2).
 \end{aligned}$$

次以 $\frac{v_t - v_o}{a}$ 代 t 值, 則

$$S = v_o \left(\frac{v_t - v_o}{a} \right) + \frac{a}{2} \left(\frac{v_t - v_o}{a} \right)^2,$$

改作之, 得

$$2aS = v_t^2 - v_o^2 \dots\dots\dots(3).$$

以上三式, 稱為運動之方程式; 為斯學之重要基礎. 以文詞表之, 則如次: 速度乘時間則得距離. 以時間乘最初速度, 加時間平方乘加速度之半, 其和等於距離. 最初速度平方與最終速度平方之差, 等於加速度與距離之積之二倍.

§10. 例題

1. 石以每秒 1000 釐米之速度, 自高處落下; 求 5 秒間之落下距離. 但物體向地面落下時, 其加速度在 *C. G. S.* 制為 980 秒秒釐米; 在 *F. P. S.* 制為 32 秒秒呎. 特以 g 字表之.

【解】

$$v_o = 1000,$$

$$t = 5,$$

$$a = g = 980;$$

$$\begin{aligned}
 \therefore S &= 1000 \times 5 + \frac{1}{2} \times 980 \times 5^2 \\
 &= 17250 \text{ 釐米} = 172.5 \text{ 米}.
 \end{aligned}$$

2. 若前例中, 石係向上投擲, 則如何?

【解】速度與加速度之方向相反;故

$$a = -980,$$

$$\therefore S = 1000 \times 5 - \frac{1}{2} \times 980 \times 5^2$$

$$= -7250 \text{ 釐米} = -72.5 \text{ 米}.$$

S 值得負數,即表示 5 秒後石在與投擲方向相反之位置;即此石被投上至其高處,而後降下,至離投出點 72.5 米之位置也。

3. 以每秒 40 呎之速度,投石向上,問須幾秒,始達 16 呎之高?

【解】 $S = 16,$

$$v_0 = 40,$$

$$a = -32;$$

$$\therefore 16 = 40t - \frac{1}{2} \times 32 \times t^2,$$

$$2t^2 - 5t + 2 = 0,$$

$$(2t-1)(t-2) = 0,$$

$$\therefore t = \frac{1}{2}; \quad \text{或} \quad t = 2.$$

此二答數均屬正確,蓋 $\frac{1}{2}$ 秒為上升中達所定之高之時間;而 2 秒則為上升至最高處而後降下時,復經所定高處所要之時間也。

4. 在前問中,問幾秒後達 30 呎之高?

【解】 $30 = 40t - \frac{1}{2} \times 32 \times t^2,$

$$8t^2 - 20t + 15 = 0,$$

$$\therefore t = \frac{20 \pm \sqrt{20^2 - 4 \times 8 \times 15}}{2 \times 8} = \frac{20 \pm \sqrt{-80}}{16}.$$

此 t 為虛值,即示不能達所期之高也。

5. 以每秒 40 呎之速投石向上,問可達幾呎高?

【解】可以公式 $2aS = v_t^2 - v_0^2$ 解之,因達最高處時,其速度為 0; 故